

# ROBOT CONTROL DEVICE AND CONTROL METHOD

Publication number: JP2003211376 (A)

Publication date: 2003-07-29

Inventor(s): NAGATA HIDEO; INOUE YASUYUKI +

Applicant(s): YASKAWA ELECTRIC CORP +

Classification:

- international: **B25J13/00**; B25J13/00; (IPC1-7): B25J13/00

- European:

Application number: JP20020007070 20020116

Priority number(s): JP20020007070 20020116

Also published as:

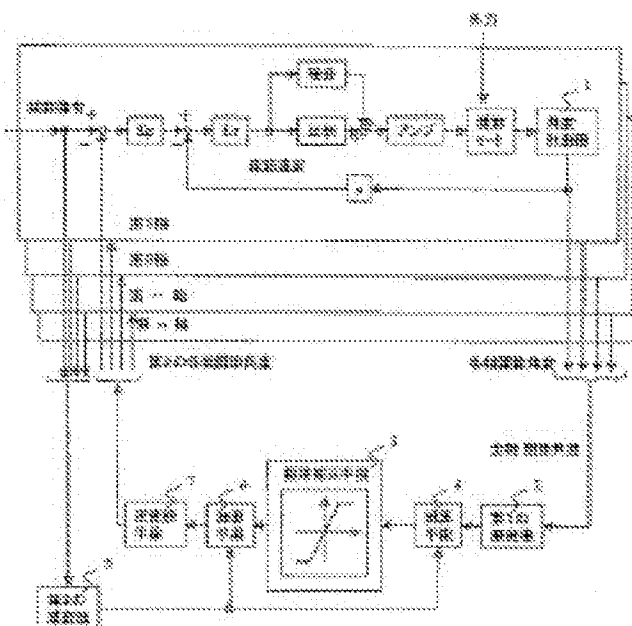
JP3937078 (B2)

## Abstract of JP 2003211376 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide flexible control of a working coordinate system that can cope with displacement of large stroke without using a sensor or the like, flexibly operate in a specific direction of a working coordinate system with simple operation and operate with high locus accuracy in directions other than the specific direction.

**SOLUTION:** This robot control device has a first forward conversion means for converting a measured joint angle into the position data of a working coordinate system; a second forward conversion means for converting a joint command into the position command data of the working coordinate system; a deviation correcting means for limiting computed position deviation data on the basis of the position data and position command data; an adding means for computing the position data of a second working coordinate system from the position command data and the position deviation data computed by the deviation correcting means; and a reverse conversion means for computing a second joint angle from the position data of the second working coordinate system. The second joint angle is used for state feed-back. ;

COPYRIGHT: (C)2003,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-211376

(P2003-211376A)

(43)公開日 平成15年 7 月29日 (2003. 7. 29)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マ-ト\*(参考)

B 2 5 J 13/00

B 2 5 J 13/00

Z 3 C 0 0 7

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2002-7070(P2002-7070)

(22)出願日 平成14年 1 月16日 (2002. 1. 16)

(71)出願人 000006622

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

(72)発明者 永田 英夫

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

株式会社安川電機内

(72)発明者 井上 康之

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

株式会社安川電機内

Fターム(参考) 3C007 AS11 BS09 KS21 LT13 LU07

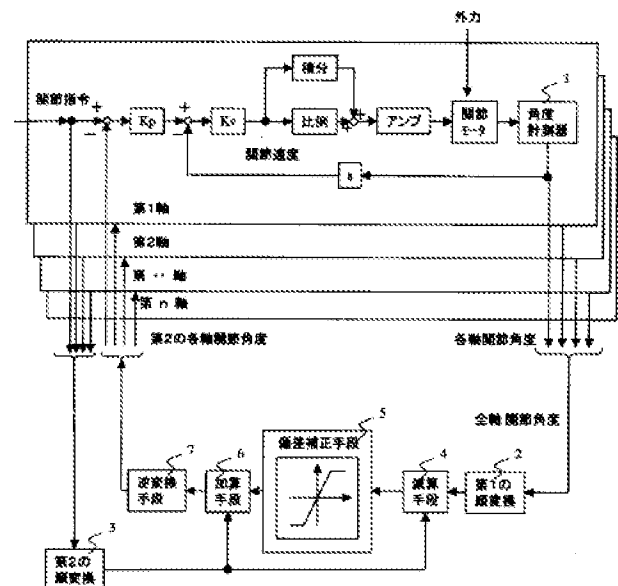
LV19 LV23 LW07 MS05

(54)【発明の名称】 ロボットの制御装置及び制御方法

(57)【要約】

【課題】 センサなどを用いることなく、ストロークの大きな変位にも対応でき、しかも単純な演算で作業座標系の特定の方向に柔軟に動作でき、特定の方向以外の方向には高い軌跡精度で動作可能な作業座標系の柔軟制御を提供する。

【解決手段】 計測した関節角度を作業座標系の位置データに変換する第1の順変換手段と、関節指令を作業座標系の位置指令データに変換する第2の順変換手段と、位置データと位置指令データに基づき算出された位置偏差データを制限する偏差補正手段と、偏差補正手段で演算された位置偏差データと位置指令データから第2の作業座標系の位置データを演算する加算手段と、第2の作業座標系の位置データから第2の関節角度を算出する逆変換手段とを有し、第2の関節角度を状態フィードバックに用いる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 関節指令に基づいて、位置・速度の状態フィードバックを施し各関節を駆動するロボットの制御装置において、

ロボットの関節座標系に関する第1の関節角度を計測する角度計測器と、

前記第1の関節角度を作業座標系の位置データに変換する第1の順変換手段と、

前記関節指令を作業座標系の位置指令データに変換する第2の順変換手段と、

前記作業座標系の位置データから前記作業座標系の位置指令データを減算し作業座標系の位置偏差データを演算する第1の減算手段と、

前記作業座標系の位置偏差データを補正する偏差補正手段と、

前記偏差補正手段で演算された位置偏差データと前記作業座標系の位置指令データを加算して第2の作業座標系の位置データを演算する加算手段と、

前記第2の作業座標系の位置データから関節座標系の第2の関節角度を演算する逆変換手段とを有し、

前記第2の関節角度を前記状態フィードバックに用いることを特徴とするロボット制御装置。

【請求項2】 前記制御装置により前記第2の関節角度を位置または速度、あるいはそれらの両方を前記状態フィードバックに用いることを特徴とする請求項1記載のロボット制御装置。

【請求項3】 前記偏差補正手段は、前記作業座標系の位置偏差データを数値に制限する手段、または、前記作業座標系の位置偏差データにゲインを乗算する手段、あるいは、それらを組み合わせた手段であることを特徴とする請求項1乃至2記載のロボット制御装置。

【請求項4】 前記角度計測器からの関節角度を元に、前記ロボットの各関節に作用する重力トルクを算出する重力トルク算出手段と、

前記重力トルクをモータの制御系に補償する重力補償演算手段を有することを特徴とする請求項1乃至3記載のロボット制御装置。

【請求項5】 関節指令に基づいて、位置・速度の状態フィードバックを施し各関節を駆動するロボットの制御装置において、

ロボットの関節座標系に関する第1の関節角度を計測し、

前記第1の関節角度をもとに作業座標系の位置データを算出し、

関節指令をもとに作業座標系の位置指令データを算出し、

前記位置データと前記位置指令データから位置偏差データを算出し、

前記位置偏差データを補正した位置偏差補正データを算出し、

前記位置偏差補正データと前記位置指令データから第2の関節角度を算出し、

第2の関節角度を前記状態フィードバックに用いることを特徴とするロボットの制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ロボットの制御装置に関し、特に作業座標系での力、トルク設定値をもとに関節を駆動するサーボモータの発生力を制御するロボットの制御装置及び制御方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来のロボットはロボットの関節軸毎に図6に示すような位置と速度の状態フィードバック系にて制御が行われていた。このような制御系でワークとの接触を伴うようなスポット溶接やシーム溶接の作業を行う際、ワークの位置ズレやワークの把持位置ズレなどがあると、剛性を高くするために大きく設定されたゲインや積分器の作用により、大きなトルクを発生することになり、溶接不良の発生や溶着などで作業の遂行が困難になって、時にはツールやロボットの破損の危険性があった。このような問題に対して、特開平9-314347号公報に示すようにワークの位置ズレなどによる作用力を治具台に設けられたコイルばねと脚部で許容する装置を用いる方式がある。

【0003】 また、力の情報を用いる方法として、特開2000-061645号公報に示すようにシーム溶接時に上部及び下部ローラ電極の加圧力をロードセルで測定して加圧力の差に基づいてロボットをフィードバック制御する方式や、特開2000-042752号公報に示すようにトルク検出器による回転トルクや加圧力が制限を越えた場合に異常を検出する方式がある。また、距離の情報を用いる方法として、特開平9-314351号公報に示すようにシーム溶接時に距離センサを用い、予めワークの形状と同一であるテンプレートにより位置を修正する方式がある。また、近年ロボットに特別な装置を付加することなく作業座標系での柔軟な制御を行う方式として、特開平8-227320号公報や特開2000-005881号公報に示すように作業座標系の各座標系方向に関して柔らかさ（バネ定数）を設定して空間内の方向別に外力に対する順応性の大きさを指定できる方式がある。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、特開平9-314347号公報に示す方式では、ワークの変更があった場合にはワークに合わせて装置自体を作り直す必要があるため汎用性に欠けており、作用力の方向が予め既知でバネの収縮方向を合わせる必要があった。また、特開2000-061645号公報や特開2000-042752号公報に示すように力センサやロードセルを付加してセンサ情報を取得する方式では、コストが増大する という問題点があった。また、特開平9-314351号公報に示すように距離センサを用

いる方式では、距離センサの方向以外には位置ズレに対応できず、ワーク変更の場合にはテンプレートなどの周辺機器の変更も必要であった。また、特開平8-227320号公報や特開2000-005881号公報に示すように、作業座標系で柔らかさ（バネ定数）を設定して空間内の方向別に外力に対する順応性の大小を指定する方式では、位置偏差が増大するとサーボモータの発生トルクが比例的に増大するためストロークが大きな場合に対応できず、作業座標系の力を関節座標系のトルクに対応させる演算関係式は煩雑で演算負荷が大きく、実時間での制御が難しいなどの問題点を有している。そこで本発明は、センサなどを用いることなくワーク変更時にも対応できる汎用性があり、センサなどを用いていないので安価であり、ストロークの大きな変位にも対応でき、しかも単純な演算で作業座標系の特定の方向に柔軟に動作でき、特定の方向以外の方向には高い軌跡精度で動作可能な作業座標系の柔軟制御を行うことを目的とする。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明の請求項1記載のロボット制御装置は、関節指令に基づいて、位置・速度の状態フィードバックを施し各関節を駆動するロボットの制御装置において、ロボットの関節座標系に関する第1の関節角度を計測する角度計測器と、前記第1の関節角度を作業座標系の位置データに変換する第1の順変換手段と、前記関節指令を作業座標系の位置指令データに変換する第2の順変換手段と、前記作業座標系の位置データから前記作業座標系の位置指令データを減算し作業座標系の位置偏差データを演算する第1の減算手段と、前記作業座標系の位置偏差データを補正する偏差補正手段と、前記偏差補正手段で演算された位置偏差データと前記作業座標系の位置指令データを加算して第2の作業座標系の位置データを演算する加算手段と、前記第2の作業座標系の位置データから関節座標系の第2の関節角度を演算する逆変換手段とを有し、前記第2の関節角度を前記状態フィードバックに用いる。請求項1記載のロボットの制御装置によれば、ハンドリング作業時にワークの位置ズレなどで外部からロボットに力が作用する際に、角度計測器によって求められた関節角度と関節指令をそれぞれ順変換手段により順変換し、減算手段により減算することで、外力によって発生する作業座標系における位置及び姿勢偏差を求め、作業座標系で柔軟に設定する軸（以降は柔軟設定軸）方向については、作業座標系における位置及び姿勢偏差を偏差補正手段により小さい値に補正し、加算手段により制限された偏差を作業座標系の位置指令と姿勢指令に加算して第2の位置フィードバック値と姿勢フィードバック値を作成し、逆変換手段により第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを関節角度に逆変換して、求められた関節角度を位置の状態フィードバックに用いることで、各関節角度が全く更新されない又は十分

に更新されずに、外力が作用しても位置ズレが小さいか無い状態になるため、柔軟設定軸方向にのみ位置ズレを許容して外部からの作用力を吸収することが可能となる。同様に、作業座標系で柔軟に設定しない軸（以降は非柔軟設定軸）方向については、作業座標系における位置及び姿勢偏差を偏差補正手段により制限しないで、加算手段により前記位置及び姿勢偏差を作業座標系の位置指令と姿勢指令に加算して第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを作成し、逆変換手段により第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを関節角度に逆変換して、位置の状態フィードバックに用いることで、各関節角度が通常の位置制御系と同様に更新されるため、従来通りの高い軌跡精度で動作が可能になる。

【0006】また、本発明の請求項2記載のロボット制御装置は、前記第2の関節角度を位置または速度、あるいはそれらの両方を前記状態フィードバックに用いる。請求項2記載のロボットの制御装置によれば、柔軟設定軸方向についての前記第2の関節角度を微分したものを速度の状態フィードバックに用いることで、柔軟設定軸方向に位置ズレが発生した場合でも速度積分項の柔軟設定軸方向に関する成分が小さくなるため、柔軟軸方向に位置ズレが発生した場合でも速度積分項により大きなトルクの発生を抑制することができる。

【0007】また、請求項3記載のロボットの制御装置は、前記偏差補正手段は、前記作業座標系の位置偏差データを数値に制限する手段、または、前記作業座標系の位置偏差データにゲインを乗算する手段、あるいは、それらを組み合わせた手段である。請求項3記載のロボットの制御装置によれば、請求項1記載と同様に、ハンドリング作業時にワークの位置ズレなどで外部からロボットに力が作用する際に、角度計測器によって求められた関節角度と関節指令をそれぞれ順変換手段により順変換し、減算手段により減算することで、外力によって発生する作業座標系における位置及び姿勢偏差を求め、作業座標系で柔軟に設定する軸（以降は柔軟設定軸）方向については、作業座標系における位置及び姿勢偏差を偏差補正手段により予め設定された1よりも十分に小さいゲインを乗算し、加算手段によりゲイン乗算された偏差を作業座標系の位置指令と姿勢指令に加算して第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを作成し、逆変換手段により第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを関節角度に逆変換して、求められた関節角度を位置の状態フィードバックに用いることで、各関節角度が全く更新されない又は十分に更新されずに、外力が作用しても位置ズレが小さいか無い状態になるため、柔軟設定軸方向にのみ位置ズレを許容して外部からの作用力を吸収することが可能となる。同様に、作業座標系で柔軟に設定しない軸（以降は非柔軟設定軸）方向については、作業座標系における位置及び姿勢偏差を偏差補正手段により乗算しないで、加算手段により前記位置及び姿

勢偏差を作業座標系の位置指令と姿勢指令に加算して第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを作成し、逆変換手段により第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを関節角度に逆変換して、位置の状態フィードバックに用いることで、各関節角度が通常の位置制御系と同様に更新されるため、従来通りの高い軌跡精度で動作が可能になる。

【0008】また、請求項4記載のロボット制御装置は、前記角度計測器からの関節角度を元に、前記ロボットの各関節に作用する重力トルクを算出する重力トルク算出手段と、前記重力トルクをモータの制御系に補償する重力補償演算手段を有する。請求項4記載のロボットの制御装置によれば、重力成分を別途補償することで、各関節座標系の速度積分項に積分される値を小さく抑えることができるので、柔軟軸方向に位置ズレが発生した場合でも速度積分項により大きなトルクが発生することを抑制することができる。

【0009】また、請求項5記載のロボット制御装置は、関節指令に基づいて、位置・速度の状態フィードバックを施し各関節を駆動するロボットの制御装置において、ロボットの関節座標系に関する第1の関節角度を計測し、前記第1の関節角度をもとに作業座標系の位置データを算出し、関節指令をもとに作業座標系の位置指令データを算出し、前記位置データと前記位置指令データから位置偏差データを算出し、前記位置偏差データを補正した位置偏差補正データを算出し、前記位置偏差補正データと前記位置指令データから第2の関節角度を算出し、第2の関節角度を前記状態フィードバックに用いる。請求項5記載のロボットの制御装置によれば、ハンドリング作業時にワークの位置ズレなどで外部からロボットに力が作用する際に、角度計測器によって求められた関節角度と関節指令をそれぞれ順変換手段により順変換し、減算手段により減算することで、外力によって発生する作業座標系における位置及び姿勢偏差を求め、作業座標系で柔軟に設定する軸（以降は柔軟設定軸）方向については、作業座標系における位置及び姿勢偏差を偏差補正手段により小さい値に補正し、加算手段により制限された偏差を作業座標系の位置指令と姿勢指令に加算して第2の位置フィードバック値と姿勢フィードバック値を作成し、逆変換手段により第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを関節角度に逆変換して、求められた関節角度を位置の状態フィードバックに用いることで、各関節角度が全く更新されない又は十分に更新されずに、外力が作用しても位置ズレが小さいか無い状態になるため、柔軟設定軸方向にのみ位置ズレを許容して＊

$$Xfb = XFB, Yfb, Zfb, \alpha FB, \beta FB, \gamma FB \dots (2)$$

ここで、

$Xfb$ ：作業座標系の位置姿勢フィードバックベクトル

$XFB$ ：作業座標系のX軸位置フィードバック

$\alpha FB$ ：作業座標系のX軸周りの姿勢フィードバック

＊外部からの作用力を吸収することが可能となる。同様に、作業座標系で柔軟に設定しない軸（以降は非柔軟設定軸）方向については、作業座標系における位置及び姿勢偏差を偏差補正手段により制限しないで、加算手段により前記位置及び姿勢偏差を作業座標系の位置指令と姿勢指令に加算して第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを作成し、逆変換手段により第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを関節角度に逆変換して、位置の状態フィードバックに用いることで、各関節角度が通常の位置制御系と同様に更新されるため、従来通りの高い軌跡精度で動作が可能になる。

【0010】

【発明の実施の形態】図6の従来例に示すように、通常の関節座標系での位置速度制御状態では位置制御ループおよび速度制御ループの作用により、外部より作用する力に対して作業座標系上において特定の方向にのみ先端の作業位置が柔軟に倣う動作を行い難い。これは関節軸毎の減速比やゲインの大きさ、ロボットの姿勢によっている。そこで、作業座標系の特定方向（非柔軟設定軸方向）の位置偏差成分のみを位置の状態フィードバックの制御に用い、柔軟設定軸方向の位置偏差成分を十分に更新しないことで、柔軟設定軸方向には位置ズレ可能で非柔軟設定軸方向には高精度に軌跡を保った動作が可能になる。以下、本発明の第1の具体的実施例を図1に示して、 $n$ 自由度のロボットに適用した例を説明する（ $n \geq 3$ ）。まず、通常の関節座標系での位置速度制御系に本発明の柔軟制御を適用した制御ブロック線図を表している。

【0011】（1）順変換

請求項1に記載するように、関節座標系における位置と速度の状態フィードバック系において、角度計測器1により求められた第1の関節角度を第1の順変換手段2により作業座標系の位置データに変換する。作業座標系とは、直交する3軸で構成された3次元の座標系であり、位置データとは、位置と姿勢からなるデータである。ここで、変換手段は、一般的に順運動学と呼ばれているロボットの各関節軸の角度からロボットの手先位置を求める演算式である。関節座標系の第1の関節角度を

$$\theta fb = \theta FB1 \sim \theta FBn \dots (1)$$

ここで、

$\theta fb$ ：関節座標系の関節角度ベクトル

$\theta FBn$ ： $n$ 軸目の関節角度

と置く。作業座標系の位置フィードバックと姿勢フィードバックを

$$Xfb = F(\theta fb) \dots (3)$$

ここで、

$F$ ：順変換式

となる。

【0012】同様に、ロボットの関節指令を第2の順変換手段3により、作業座標系の位置指令と姿勢指令を求める。関節座標系の関節指令を

$$\theta_{ref} = \theta_{REF1} \sim \theta_{REFn} \quad \dots (4) \quad *$$

$$X_{ref} = X_{REF}, Y_{REF}, Z_{REF}, \alpha_{REF}, \beta_{REF}, \gamma_{REF} \quad \dots (5)$$

ここで、

$X_{ref}$ : 作業座標系の位置姿勢指令ベクトル

$X_{REF}$ : 作業座標系のX軸位置指令

$\alpha_{REF}$ : 作業座標系のX軸周りの姿勢指令

と置くと、

$$X_{ref} = F(\theta_{ref}) \quad \dots (6)$$

ここで、

$F$ : 順変換式

となる。

【0013】(2) 減算手段

次に、減算手段4により前記作業座標系の位置フィードバックと姿勢フィードバックから位置指令と姿勢指令を減算して、作業座標系の位置偏差及び姿勢偏差 $\Delta X$ を演算する。

$$\Delta X = X_{fb} - X_{ref} \quad \dots (7)$$

【0014】(3) 偏差補正手段

柔軟設定軸方向については、偏差補正手段5により作業座標系の位置偏差及び姿勢偏差 $\Delta X$ を予め設定された数値、例えば0又は通常よりも小さく設定された値で制限する。非柔軟設定軸方向については、偏差補正手段により作業座標系の位置偏差及び姿勢偏差 $\Delta X$ の制限を行わない、又は通常値で制限する。制限後の位置偏差及び姿勢偏差は $\Delta X_{LIMIT}$ で表す。

【0015】(4) 加算手段

偏差補正手段後の位置偏差及び姿勢偏差 $\Delta X_{LIMIT}$ は、加算手段6により作業座標系の位置指令と姿勢指令 $X_{ref}$ に加算されて作業座標系の第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックである(8)式の $X_{fb2}$ となる。

$$X_{fb2} = \Delta X_{LIMIT} + X_{ref} \quad \dots (8)$$

【0016】(5) 逆変換手段

逆変換手段7により第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックを関節角度に逆変換して、求められた関節角度 $\theta_{fb2}$ を位置の状態フィードバックに用いる。関節座標系の第2の関節角度を

$$\theta_{fb2} = \theta_{FB21} \sim \theta_{FB2n} \quad \dots (9)$$

ここで、

$\theta_{fb2}$ : 関節座標系の第2の関節角度ベクトル

$\theta_{FB2n}$ : n軸目の第2の関節角度

$$\theta_{fb2} = B(X_{fb2}) \quad \dots (10)$$

ここで、

$B$ : 逆変換式

となる。求められた関節座標系の第2の関節角度を位置

\*ここで、

$\theta_{ref}$ : 関節座標系の関節指令ベクトル

$\theta_{REFn}$ : n軸目の関節指令

と置く。作業座標系の位置指令と姿勢指令を

の状態フィードバックに用いて位置制御を行うことで、非柔軟設定軸方向の位置偏差成分のみを位置の状態フィードバックの制御に用い、柔軟設定軸方向の位置偏差成分を十分に更新しないことで、柔軟設定軸方向には位置ズレ可能で、非柔軟設定軸方向には高精度に軌跡を保った動作が可能になる。

【0017】実際のロボットに本制御を用いた例を図5の作用を表す模式図を用いて説明する。本例では説明を簡潔にするため2軸の水平多関節型ロボットを用いるが、3軸以上の垂直多関節ロボットでも同様である。図5(a)に示すように、ロボット先端に外力 $F$ が作用する場合を考える。この時、作業座標系のY軸方向を柔軟設定軸方向に、X軸方向を非柔軟設定軸方向に設定する。通常はロボットの位置指令と位置フィードバックは同一の値である。しかし、ロボットは外力 $F$ により、図5(b)の実線に示す位置に動き、微小ではあるが位置指令と位置フィードバックにズレ $\Delta X$ と $\Delta Y$ が発生する。ここで、位置と速度の高ループゲインの作用により通常は元の位置(点線に示す位置)に戻ろうとするが、Y軸方向には偏差補正手段5の制限が働き、例えば制限の数値が0の場合には、 $\Delta Y$ は0になり、Y軸方向には位置指令と位置フィードバックのズレは $\Delta Y = 0$ となる。X軸方向には偏差補正手段5の制限が働かないので、 $\Delta X$ は0にならず、X軸方向には位置指令と位置フィードバックのズレは $\Delta X$ のままとなる。よって、求められた $\Delta X$ と $\Delta Y$ を加算手段6により位置指令に加算し、逆変換手段7により関節座標系の第2の関節角度を求め、位置の状態フィードバックに用いて位置制御を行うことで、図5(c)の実線で示すように、X軸方向には位置制御が働いたためロボットの先端は元の値に戻り、Y軸方向には位置制御が働かないためロボットの先端は元の値に戻らない。つまり、外力 $F$ が働いても、Y軸方向には位置ズレするが、X軸方向には位置ズレせずに軌跡を保つことが可能である。

【0018】次に、本発明の第2の具体的実施例を図2に示して説明する。通常の関節座標系での位置速度制御状態では速度制御ループの速度積分項の作用により、外部より作用する力により位置ズレが発生すると、速度偏差が大きくなり積分されて過大なトルクが発生してしまう。そこで、本実施例は、請求項2に記載するように、第1の具体的実施例について関節角度を微分することで関節角速度を求めて、速度の状態フィードバックに用いるものである。これによって、外部より作用する力によ

り位置ズレが発生しても、位置ズレを許容する方向には位置ズレが0又は小さく制限されるので速度成分も相対的に小さくなるため、速度積分項に貯まる値が小さくてすみ、大きなトルクの発生を抑制することができる。ここで、非柔軟設定軸方向に関する速度積分項の成分は通常の位置速度制御系と同じであるため、位置ズレせずに軌跡精度を保つことが可能な制御系を構成できる。

【0019】次に、本発明の第3の具体的実施例を図3に示して説明する。本実施例は、請求項3に記載するように、第1の具体的実施例について偏差補正手段5（柔

$$Xfb2 = \Delta XGAIN + Xref$$

【0020】次に、逆変換手段7を用い、式(9)と(10)により、関節座標系の第2の関節角度 $\theta_{fb2}$ を位置の状態フィードバックに用いる。これにより、求められた関節座標系の第2の関節角度を位置の状態フィードバックに用いて位置制御を行うことで、非柔軟設定軸方向の位置偏差成分のみを位置の状態フィードバックの制御に用い、柔軟設定軸方向の位置偏差成分を十分に更新しないことで、柔軟設定軸方向には位置ズレ可能で非柔軟設定軸方向には高精度に軌跡を保った動作が可能になる。

【0021】次に、本発明の第4の具体的実施例を図4に示して説明する。本実施例は、請求項4に記載するように、第1の具体的実施例について、定常的に作用する重力などの力を別途補償することで、重力の影響で鉛直方向に位置ズレが発生することを抑えるものである。この重力の演算の方法としては、例えば、ロボットの各リンクの重量と重心位置と各関節角度から重力トルク算出手段8により、重力補償用トルクを求めて、重力補償演算手段9により速度積分値と速度比例値を加算して求めたトルク指令に加算する方法がある。これにより、作業座標系の柔軟設定軸方向と鉛直方向が同じ場合に、重力成分のトルクが各関節座標系の速度積分項に積分されるのを抑えることができ、速度積分値自体を通常の位置速度制御時よりも小さくし、位置ズレが発生した場合でも速度積分項により大きなトルクが発生することを抑制することができる。

【0022】

【発明の効果】以上述べたように、請求項1記載のロボットの制御装置によれば、ワークの位置ズレなどによる外部からロボットに作用する力に対して、作業座標系で柔軟に設定する軸（以降は柔軟設定軸）方向についてのみ速度と角速度を制限した後で関節角度に変換して、その積分値である関節角度を位置の状態フィードバックに用いる。そのため、各関節角度の柔軟設定軸方向に関する成分についての位置が更新されないため、柔軟設定軸方向にのみ位置ズレを許容して外部からの作用力を吸収することが可能になる。また、各関節角度の柔軟設定軸ではない方向に関する成分については位置が更新されな

＊し、非柔軟設定軸方向については制限を行わない手段）の代わりに、ゲイン乗算を行う。これは作業座標系の柔軟設定軸方向については位置偏差及び姿勢偏差 $\Delta X$ に予め設定された1よりも十分に小さいゲインを乗算し、非柔軟設定軸方向については位置偏差及び姿勢偏差 $\Delta X$ には1を乗算するか何も乗算しない手段を用いる。乗算後の位置偏差及び姿勢偏差 $\Delta XGAIN$ に第1の具体的実施例と同様に加算手段6を用い、作業座標系の第2の位置フィードバックと姿勢フィードバックである $Xfb2$ を求める。

$$\dots (11)$$

いため、従来通りの高い軌跡精度で動作が可能となる。請求項2記載のロボットの制御装置によれば、柔軟設定軸方向についてのみ現在速度を変更した前記第2の関節角速度を速度の状態フィードバックに用いることで、速度積分項の柔軟設定軸方向に関する成分が小さくなるため、柔軟軸方向に位置ズレが発生した場合でも速度積分項により大きなトルクの発生を抑制することができる。請求項3記載のロボットの制御装置によれば、請求項1記載と同様に、ワークの位置ズレなどによる外部からロボットに作用する力に対して、作業座標系で柔軟に設定する軸（以降は柔軟設定軸）方向についてのみ速度と角速度を小さくゲイン乗算した後で関節角度に変換して、その積分値である関節角度を位置の状態フィードバックに用いる。そのため、各関節角度の柔軟設定軸方向に関する成分についての位置が更新されないため、柔軟設定軸方向にのみ位置ズレを許容して外部からの作用力を吸収することが可能になる。また、各関節角度の柔軟設定軸ではない方向に関する成分については位置が更新されないため、従来通りの高い軌跡精度で動作が可能となる。請求項4記載のロボットの制御装置によれば、重力成分を別途補償することで、各関節座標系の速度積分項に積分される値を小さく抑えることができるので、柔軟軸方向に位置ズレが発生した場合でも速度積分項により大きなトルクが発生することを抑制することができる。請求項5記載のロボットの制御装置によれば、ワークの位置ズレなどによる外部からロボットに作用する力に対して、作業座標系で柔軟に設定する軸（以降は柔軟設定軸）方向についてのみ速度と角速度を制限した後で関節角度に変換して、その積分値である関節角度を位置の状態フィードバックに用いる。そのため、各関節角度の柔軟設定軸方向に関する成分についての位置が更新されないため、柔軟設定軸方向にのみ位置ズレを許容して外部からの作用力を吸収することが可能になる。また、各関節角度の柔軟設定軸ではない方向に関する成分については位置が更新されないため、従来通りの高い軌跡精度で動作が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の具体的実施例

【図2】本発明の第2の具体的実施例

【図3】本発明の第3の具体的実施例

【図4】本発明の第4の具体的実施例

【図5】本発明の作用を表す模式図

【図6】従来の制御方式を示す図

【符号の説明】

1：角度計測器

2：第1の順変換手段

3：第2の順変換手段

4：減算手段

5：偏差補正手段

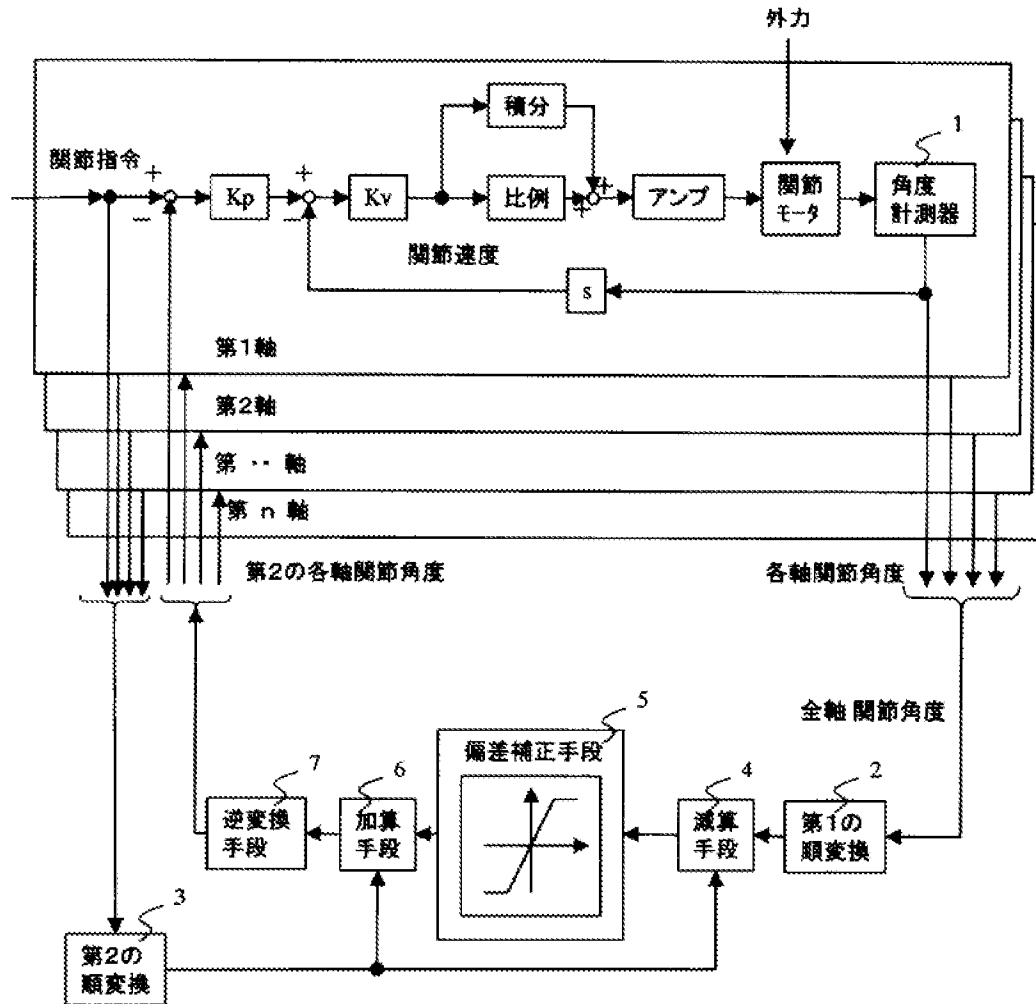
6：加算手段

7：逆変換手段

8：重力トルク算出手段

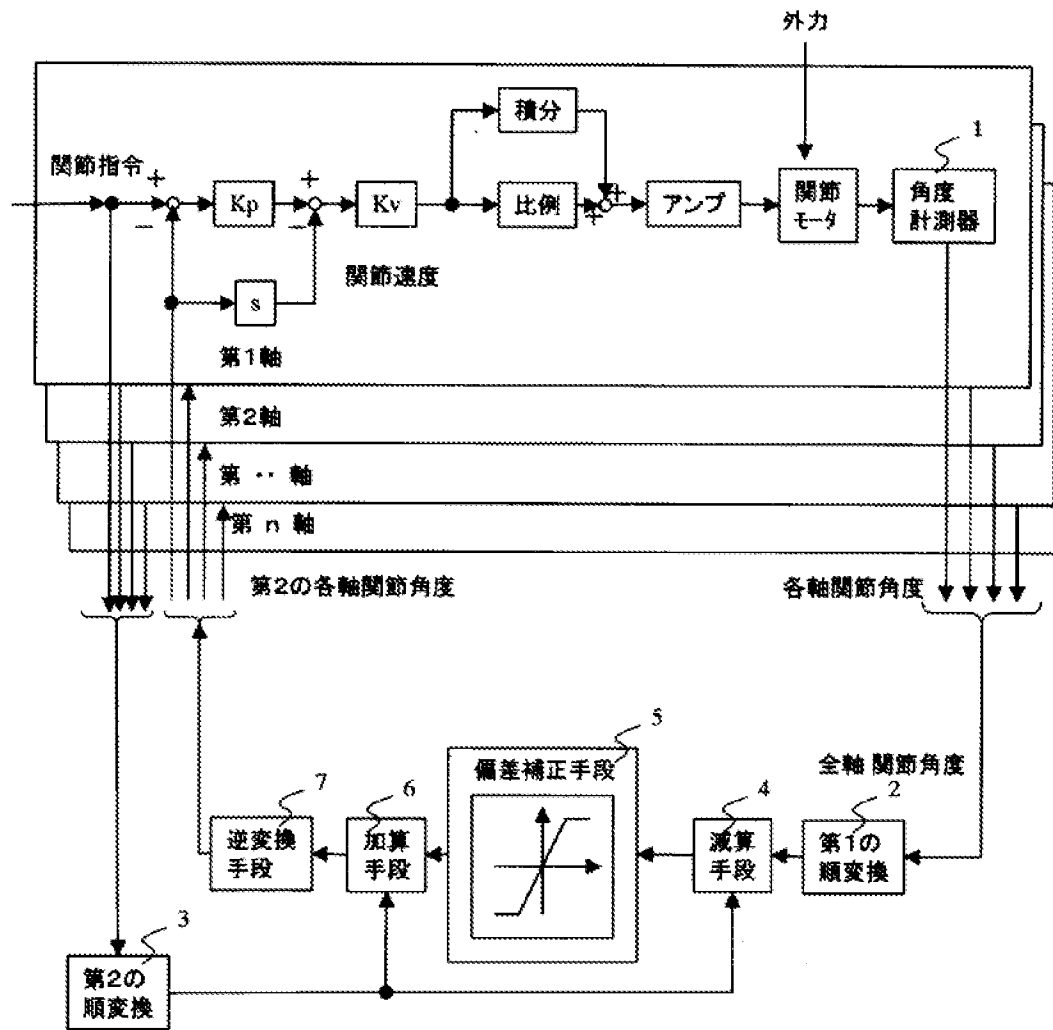
9：重力補償演算手段

【図1】

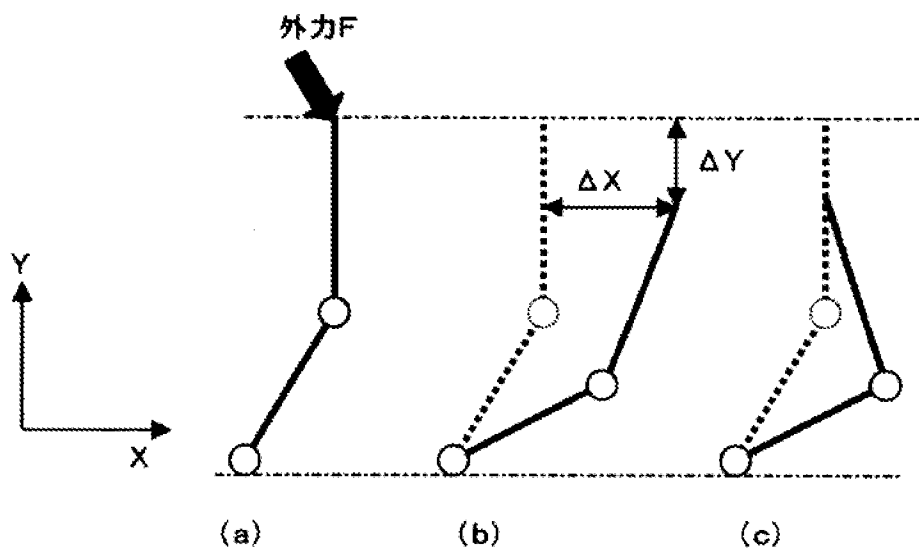




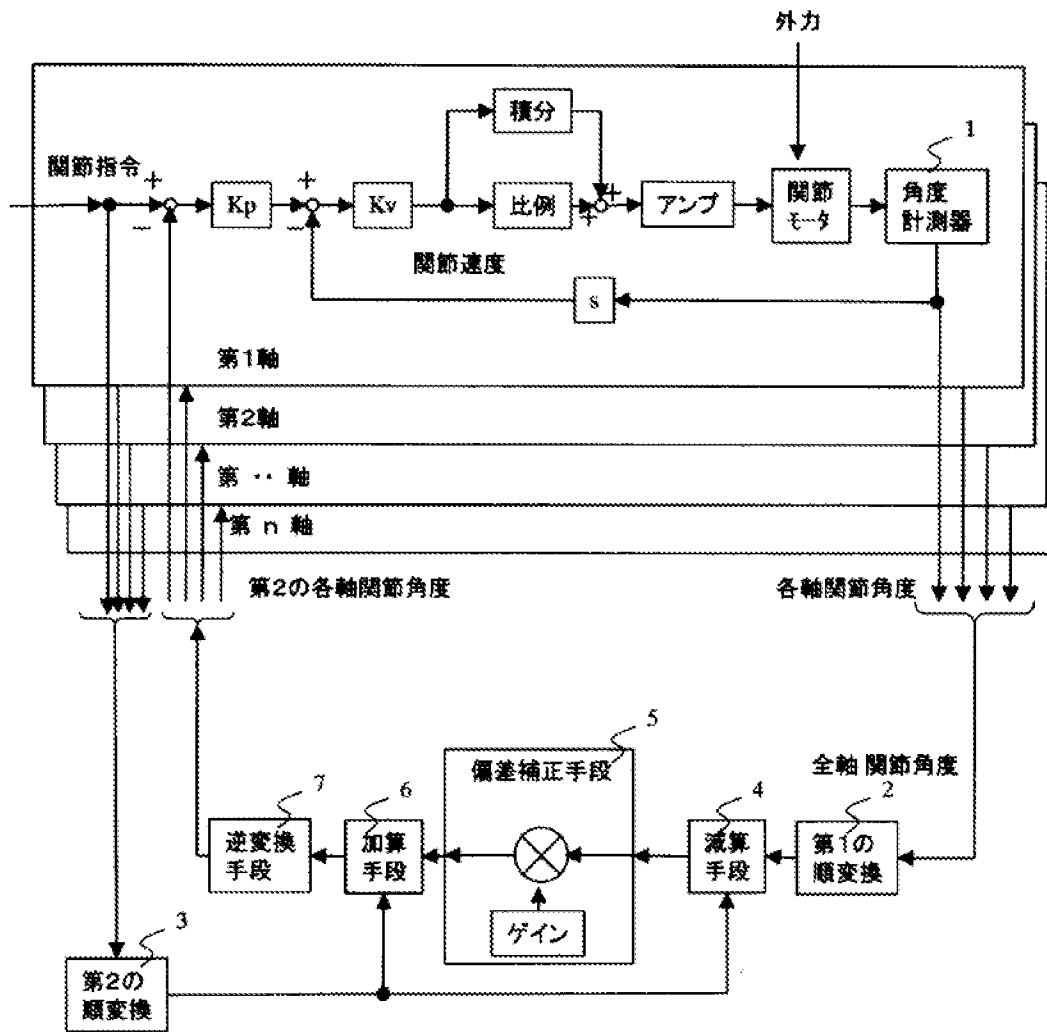
【図2】



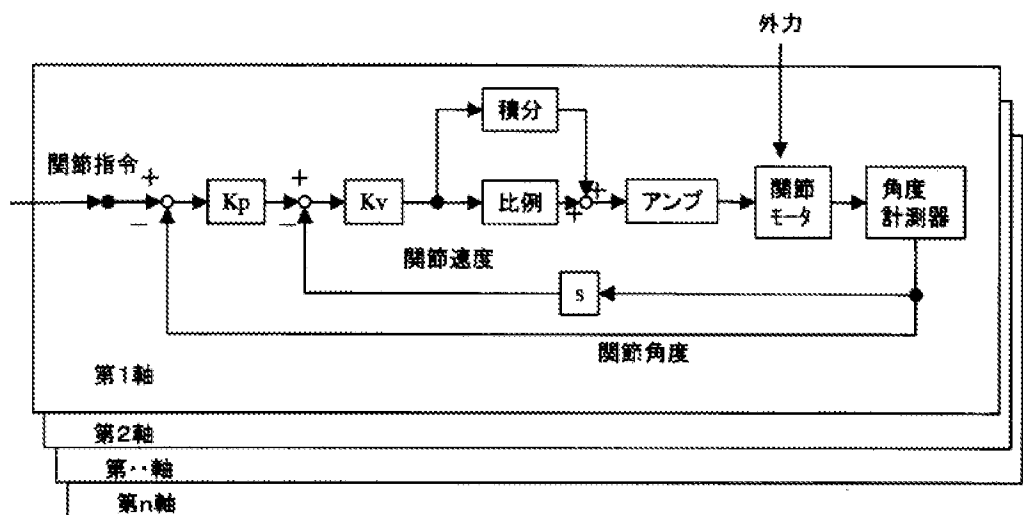
【図5】



【図3】



【図6】



【例4】

